



I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015

Reunión anual de riego y drenaje

Jiutepec, Morelos, México, 23 y 24 de noviembre

EL EFECTO DE LA DEFORESTACIÓN SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Wruck Spillecke Klaus Werner¹, Cortés Torres Hector Gregorio¹, Unland Weiss Helene Emmi Karin¹

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México, C.P. 62550.

Resumen

Se presenta un resumen de la información actualizado que existe en el momento sobre el impacto que tienen las masas forestales en específico, así las deforestaciones y el cambio del uso de suelo sobre el cambio climático. Como literatura principal se utiliza por un lado el capítulo 8.3.5. "Land Surface Changes", presentado en el Fifth Assessment Report del Intergovernmental Panel on Climate Change (Myhre et al, (2013).

El cambio de cobertura del suelo por la influencia del hombre, tanto a través de la urbanización, como por la deforestación de grandes superficies tiene un impacto directo en el balance energética de la tierra, por un lado en la relación entrada y salida de radiación de la Tierra, debido a diferentes factores:

Por un lado debido a través de un cambio en el albedo de la superficie. La mayoría de los autores presentan el impacto que tiene el cambio del albedo debido al cambio del uso de suelo a nivel global en -0.2 W m^{-2} , aunque existen fuertes suposiciones que dicha diferencia sea menor. (Myhre et al (2013)) supone que están alrededor de -0.15 a -0.10 W m^{-2} . Hay diferencias latitudinales respecto al impacto que tiene el cambio del albedo por deforestación: en las zonas frías el impacto es mayor enfriamiento, mientras que en las zonas cálidas tropicales el impacto de la deforestación es de mayor calentamiento.

Otros impactos sobre el cambio climático es a través de la fijación de dióxido de carbono. También aquí existe gran variabilidad según el tipo forestal y la zona climatológica. La masa forestal de los bosques templados húmedas tienen mayor capacidad de fijar dióxido de carbono a través de la fotosíntesis, seguido por los bosques tropicales húmedas, también los bosques boreales tienen buena capacidad, mientras las bosques de zonas secas tienen capacidades menores.

El tercer impacto significativo es el impacto que tiene la masas forestal sobre el ciclo hidrológico: la infiltración, recarga de acuíferos, escurrimientos subsuperficiales y



superficiales, evapotranspiración, evaporación, adsorción de calor latente de evaporación, contenido atmosférico de vapor, movimientos convectivos y precipitación.

Al comparar diferentes modelos climatológicas, donde se encontraron muy fuertes diferencias sobre los resultados, sobre los impactos que tienen los cambios en el uso de suelo sobre el clima (Pitman et al, (2009)), en parte debido a diferencias sobre el mismo cambio de uso de suelo, pero también debido a diferencias en el albedo de los diferentes ecosistemas, diferencias del albedo durante las fases fenológicas de las plantas, y la influencia de la evapotranspiración.

Se presenta el conocimiento actual sobre los arriba mencionados interacciones, además de la presentación de algunos parámetros aproximado tanto en volúmenes de toneladas de carbono almacenados de masas forestales, incluyendo los niveles de biodiversidad; como intentos de dar valores monetarios, para poder valorar mejor la importancias de las masas forestales y cuantificar en forma aproximado el impacto que tienen.

Palabras clave:



Introducción

México pasó a ser parte activo desde 2010 en el programa de la Organización de Naciones Unidas de la Reducción de Emisiones de Gases Invernadero por Deforestación y Degradación Forestal (Programa ONU- REDD). Por una necesidad: Las masas forestales y su destrucción tienen que ver con el cambio de clima.

Cada vez se adquiere más conocimiento sobre el impacto que tiene la remoción de la vegetación natural (por cambio de uso de suelo) sobre el cambio de clima. Los impactos son a través del ciclo de carbono (emisión y adsorción de dióxido de carbono), el ciclo del agua (infiltración, recarga de acuíferos, escurrimientos superficiales, evapotranspiración, condensación, circulación atmosférica, precipitación) y el balance de entrada y salida de energía radiativa (albedo, reflectancia, adsorbencia, emisividad de radiación), así el balance energética total terrestre. Así el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, Intergovernmental Panel of Climatic Change), fundada en 1988; ofrece periódicamente los más recientes conocimientos científicos adquiridos sobre el cambio climático, y así que tiene que ver con el uso de la tierra y las masas forestales (LULUCF Land Use, Land Use Change and Forestry).

El Cambio de uso de suelo a nivel global

El Cuarto Reporte del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de 2007 analiza detalladamente el efecto del cambio climático, debido al cambio del albedo de la superficie terrestre por el cambio de uso de suelo entre 1750 hasta la actualidad. En esto encontró que el cambio fue mínimo, alrededor de -0.2 W m^{-2} . Según Hurtt et al (2006) hubo durante este tiempo un cambio en el uso de suelo entre 42 a 68 % de la superficie terrestre continental a través de la inducción de agricultura, praderas y explotación forestal y crecimiento urbano. Hasta la mitad de los años 20 hubo una disminución de la superficie forestal en las zonas templadas del hemisfero norte, después volvió un incremento en la superficie forestal en esta parte debido al abandono de áreas rurales y esfuerzos de restauración forestal, tanto en China, Europa occidental y América del Norte. Pero a partir de los años 20 también inició un acelerado incremento de deforestación en las zonas tropicales, hasta entre 1980-1990. A partir de entonces el proceso de deforestación volvió a desacelerarse. (FAO 2012).

Después del Cuarto Reporte del IPCC de 2007 hubo investigación más detallado por parte de Pongratz et al. (2008) y Kaplan et al. (2011) los cuales reconstruyeron el desarrollo del uso de suelo más allá del año 1750, fecha usada de referencia para la mayoría de los fenómenos que se relacionan con el cambio climático actual, pero en la cual la mayor parte de las superficies agrícolas actuales Europeas y de Asia ya existieron. Deforestaciones en Europa y Asia tenían un efecto “enfriador” (negative radiative forcing = balance negativo



de energía global, más emisión que adsorción de radiación por parte de la tierra). Betts et al (2007) y Goose et al (2006) suponen que este fenómeno causó la “Pequeña Edad de Hielo” (alrededor entre año 1300 a 1850), además de los impactos de actividades solares y volcánicas, antes del incremento de concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmosfera.

Según Gailard et al, 2010 existe todavía una significativa incertidumbre sobre la evolución del cambio de uso de suelo en este periodo.

El albedo de la tierra y el balance de energía

El albedo superficial es la relación entre la radiación entrante y reflexionada a nivel superficie terrestre o marina. Es muy variable, según el material de la superficie, además según latitud (Bala et al (2007), Bathiany et al, (2010), Davin and De Noblet Ducoudre (2010)):

Por lo general a nivel global en las zonas tropicales hay más entradas que salidas de energía, mientras que en las latitudes altas el balance de energía es negativa, hay más pérdidas (emisiones de energía radiativa desde la tierra hacia el espacio) que la entrada. Dicha diferencia es compensado debido a los flujos oceánicos y atmosféricas. Así el albedo forestal tiene efectos suavizantes sobre el balance energético: en las zonas de deficiencia del balance energética (las zonas frías) el impacto del bosque es calentado, mientras en las zonas de exceso energético (zonas tropicales) el impacto es enfriador:

Zonas templadas y frías (latitudes altas):

La masa forestal en latitudes altas (zonas templadas y boreales) tiende a disminuir (aumentando las entradas de energía con efecto calentador), especialmente durante la época de las nevadas ya que interrumpe la capa de nieve disminuyendo la fuerte reflectividad que tiene en áreas planas sin vegetación arbórea. Esto también ocurre durante la época de verano, debido a que la superficie de estas es más oscura; sumando todavía la adsorción de la radiación por efecto de la fotosíntesis. En estas latitudes la deforestación significa un enfriamiento. Debido a que las latitudes altas tienen un balance negativo energética generalizada, las masas forestales amortiguan dicho balance negativo y influyen en suavizar temperaturas extremas bajas. Deforestación allí lleva a incrementar el balance negativa energética y bajar las temperaturas más, especialmente alto son las diferencias de albedo durante el invierno cuando haya cubierta de nieve (Bernier et al, 2011).

Pongratz et al (2009), estimó el impacto de un aumento del albedo global debido a la deforestación, así incremento de superficies con cubierta de nieve continuo durante los inviernos boreales durante los tiempos preindustriales es alrededor de -0.05 W m^{-2} (un aumento de albedo significa una disminución en el balance de energía. Betts et al (2007) y Pongratz et al (2009) estimaron la distribución espacial y durante el tiempo del balance de



energía radiativo debido al cambio del albedo, debido al cambio del uso de la tierra desde el inicio de la era industrial, encontrando un valor aproximado de -0.2 W m^{-2} , lo cual es un ligero enfriamiento. La diferencia entre 1992 respecto al valor de 1750 se estimó entre -0.17 a -0.21 W m^{-2} . Davin et al, (2007) estimó valores superiores del balance energético por incremento de albedo, aproximadamente -0.22 W m^{-2} . Davin y De Noblet Ducoudre (2010) confirmaron el efecto del enfriamiento atmosférico que tiene la deforestación a gran escala

Según Lohila et al (2010) la restauración forestal de bosques boreales de zonas templadas y frías resulta en un equilibrio entre el impacto enfriador por la fotosíntesis e fijación de materia orgánica y el impacto de calentamiento debido a la reducción del albedo, en especial durante el invierno y allí durante presencia de nieve. También las pérdidas nocturnas son inferiores ya que los árboles reabsorben la radiación terrestre emitida. Así las pérdidas energéticas durante la noche son inferiores.

Zonas cálidas (tropicales y subtropicales, latitudes bajas).

En estas regiones donde la entrada de radiación es mayor que la emitida por la superficie terrestre, donde existe un exceso de energía, el cual es equilibrado a través de los corrientes marinas y atmosféricas globales.

Allí la masa forestal comparando con el área deforestado tiene un efecto “enfriador” (Bala et al, (2007); Expuestos a la radiación la tierra desnuda se calienta más rápido que la cubierta por densa vegetación, además influye más fuerte el efecto de adsorción de energía a través de la evapotranspiración, la fijación de dióxido de carbono atmosférica por la fotosíntesis y más que todo el impacto múltiple que sobre el ciclo hidrológico, desde la recarga de acuífero, evapotranspiración, precipitación y mucho más. (Bala et al (2007)), Bathiany et al (2010), Davin and De Noublet Ducoudre (2010)).

Otros efectos sobre el cambio del albedo de la tierra

Quemas

Las quemas como práctica agrícola o ganadera tienen doble impacto calentador: (1) aportan dióxido de carbono de la atmósfera, además (2) impactan significativamente el albedo, aumentando la adsorción de la radiación y así la temperatura a nivel terrestre (Bowman et al, (2009)) (Jin and Roy (2005)). Por el otro lado en latitudes altas las áreas quemadas son más fáciles de cubrirse con nieve, al cual significa un aumento en el albedo y así disminución de la adsorción de energía. Jin et al, 2012 y Myhre et al (2005 b) estiman un efecto radiativo por cambio de albedo debido a las frecuentes fuegos de África un incremento de $+0.015 \text{ W m}^{-2}$.

Polvo y aerosoles debido a erosión eólica

Especialmente en las zonas áridas la deforestación, la agricultura y el sobrepastoreo favorecen la generación de aerosoles y polvaderas. Mulitza et al (2010) encontró la



generación generalizado de fuertes emisiones y depósitos de aerosoles en la región del Sahel debido a actividades agrícolas además del sobrepastoreo. Junto con el análisis del fuente del aerosol (Ginoux et al, 2010) supone un fuerte impacto sobre el albedo terrestre, además que el polvo mismo es un calentador atmosférico poderoso. No existen todavía estimaciones precisas sobre el cambio del albedo (Myhre et al, (2013)).

Zonas urbanas:

Las zonas urbanas tienen por lo general un albedo entre 0.01 a 0.02 veces inferior que las áreas agrícolas cercanas (adsorban más radiación), según Jin et al (2005). Los valores pueden ser muy variables, si se utiliza techos blancos el albedo se puede incrementar y así disminuir la adsorción de energía (Oleson et al, 2010), recomendado en especial en regiones cálidas. Puede ser que el efecto global sea mínima, pero puede ser significativa a escala pequeña. Campra et al (2008) reporta un aumento en el albedo debido a la instalación masiva de invernaderos en el sur de España con su significado en la reducción de adsorción del calentamiento local atmosférico.

Diferencia en los resultados

A partir de la disponibilidad de MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data (Schaaf et al, 2002) mejoró también la medición del albedo de la superficie terrestre. (Rechid et al., 2009). Myhre et al (2005a) y Kvalevag et al (2010) usando estos datos del MODIS encontraron que el impacto del cambio del albedo por cambio de uso de suelo sobre el cambio climático es inferior a las suposiciones anteriores. La diferencia del albedo de la vegetación natural comparando con la de un campo cultivado es inferior que la supuesta anteriormente. Dependiendo de los modelos de interrelación tierra – atmosfera utilizado existen significativas diferencias en la estimación del cambio del albedo y su impacto sobre el balance de energía. (De Noblet – Ducoudre et al (2012), Pitman et al (2009))

Capacidad forestal respecto a fijación de dióxido de Carbono

Las masas forestales almacenan 90 % del carbono vegetal terrestre, lo que significa la importancia la conservación de las superficies existentes y restauración de superficies perdidas.

20 % de la emisión de dióxido de carbono a nivel mundial proviene de la deforestación debido al cambio de uso de suelo (unfccc.int/key_steps/warsaw_outcomes/items/8066.php).

En el documento del PNAS (2009), Tabla 1 se presentan los siguientes valores promedias de la capacidad de fijar carbono (biomasa total: viva y muerta)

Tabla 1. Datos promedios de capacidad de fijación de carbono (Fuente: PNAS (2009), Tabla 1)



Tipo sistema forestal	media	Desv estándar	Valor por default
	tC ha ⁻¹	tC ha ⁻¹	tC ha ⁻¹
Tropical muy húmedo	231	75	213
Tropical semihúmedo	248	100	142
Tropical seco	111		105
Tropical montaña	167	17	112
Subtropical húmedo	498	200	171
Subtropical seco			140
Subtropical montaña			132
Templado húmedo	642	294	233
Templado seco	278	173	121
Templado montaña	153		124
Boreal húmedo	97		99
Boreal seco	84		60
Boreal montaña			76

En los años 1993 publicó el Center for Social and Economic Research on Global Environment una estimación de costos de deforestación por el incremento de dióxido de carbono a la atmosfera, con los siguientes resultados:

- Costo de 643 US \$/ ha (1993) si se deforestan bosques templados caducifolios
- Costo de 1863 US \$ / ha (1993) si se deforestan selvas tropicales caducifolias
- Costo de 3410 US\$ / ha (1993) si se deforestan bosques templados coníferas
- Costo de 3337 US\$ /ha (1993), si se deforestan selvas tropicales perennifolias

(Fuente: CSERGE (1993), p.220, cuadro 7.5 y 7.6)

Resultados

La deforestación tiene impactos fuertes sobre la concentración de dióxido de carbono atmosférico, así contribuye en el calentamiento atmosférico global. Como consecuencia la restauración forestal es una estrategia aceptado en la lucha contra el calentamiento atmosférico global.

La relación masa forestal - deforestación causa efectos muy complejos en la naturaleza (Barnes and Roy (2008)), tienen múltiples impactos donde:

- (1) el albedo (reflectividad de la radiación solar por parte de la superficie de la tierra) es solo un factor,
- (2) la fijación de dióxido de carbono atmosférica a través de la fotosíntesis es otro factor muy importante, razón de la creación del Programa de la Organización de Naciones Unidas de la Reducción de Emisiones de Gases Invernadero por Deforestación y Degradación Forestal (Programa ONU- REDD).Hay diferencias en



la capacidad media de la cantidad de fijar carbono, según tipo de ecosistema, latitud y régimen de humedad en el suelo (PNAS, 2009).

- (3) El impacto sobre el ciclo hidrológico: Es el factor más importante (Van der Molen et al, 2011), la evapotranspiración, así la evaporación, la tasa de infiltración, el escurrimiento subsuperficial y superficial, la erosión del suelo (a su vez otra vez el albedo), la disponibilidad de agua a nivel local, los movimientos atmosféricas, la rugosidad de la superficie terrestre, el contenido de vapor atmosférico movimientos convectivas, precipitación, etc...La deforestación a gran escala es relacionado directamente con la reducción de precipitación, los niveles de esta última interacción también son muy variables, dependiendo también de la posición geográfica respecto a cordilleras, distancias hacia las costas y vientos dominantes que a su vez dependen de las corrientes marinas.

Por el otro lado existen modelos climatológicos donde se minimiza el impacto que tiene el cambio de uso de suelo sobre el clima (Findell et al, (2007), Davin et al (2007)). Pero experimentos numéricos climatológicos señalaron de que si tienen impactos fuertes.

Y los impactos dependen también de la latitud (Bala et al (2007), Bathiany et al (2010)). Davin and De Noblet-Ducoudre (2010) analizan el impacto de deforestaciones a gran escala sobre el cambio climático y confirman el impacto enfriador en zonas frías (latitudes altas) y calentador en zonas cálidas (latitudes bajas), incrementando los extremos climatológicas. Así la masa forestal tiene impacto equilibrador: refresca en las zonas cálidas, reduciendo los niveles energéticos, donde hay un exceso de entrada de energía por radiación; y calienta las áreas, donde es frío, donde hay deficiencia del balance energética. Estos efectos están bien confirmados por mediciones de las correspondientes diferencias de temperaturas dentro de las masas forestales y las tierras deforestadas adyacentes (Lee et al (2011)),

Agricultura de riego por lo general tiene un impacto refrescante debido a la adsorción de calor latente por evaporación, pero esto es únicamente a nivel local ya que dicha energía vuelve ser liberado en el sitio, donde dicho vapor será condensado. Si la agricultura de riego es a gran escala, este enfriamiento puede ser a varios grados (Kuppers et al. (2007)). También puede influir en el desarrollo de nubes y precipitación (Puma y Cook, (2010)). De Angelis et al (2010) comprobó el impacto de riego en los Grandes Planicies de los Estados Unidos sobre las precipitaciones en las cordilleras a 1000 km hacia el noreste

Debido a la enorme capacidad de remover y fijar dióxido de carbono a través de la fotosíntesis se estableció el Programa de la Organización de Naciones Unidas de la Reducción de Emisiones de Gases Invernadero por Deforestación y Degradación Forestal (Programa ONU- REDD), al cual México se adhirió desde 2010.



Será indispensable la conservación de las masas forestales existentes, la restauración de superficies forestales perdidas y el diseño de paquetes tecnológicos de sistemas Agroforestales sustentables y económicamente viables, además efectivas en la fijación de dióxido de carbono y a la vez en la producción de alimentos.

La tarea es buscar estrategias eficientes adaptadas para cada condición local para lograrlo en forma masiva y eficientemente, incluyendo al beneficio la población local correspondiente.

Conclusiones

Referencias

- Arora, V. K., and A. Montenegro, 2011: Small temperature benefits provided by realistic afforestation efforts. *Nature Geosci.*, 4, 514–518. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Bala, G., K. Caldeira, M. Wickett, T. J. Phillips, D. B. Lobell, C. Delire, and A. Mirin, 2007: Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 104, 6550–6555 (Citado en: Myhre et al (2013).
- Barnes, C. A., and D. P. Roy, 2008: Radiative forcing over the conterminous United States due to contemporary land cover land use albedo change. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L09706.
- Bathiany, S., M. Claussen, V. Brovkin, T. Raddatz, and V. Gayler, 2010: Combined biogeophysical and biogeochemical effects of large-scale forest cover changes in the MPI earth system model. *Biogeosciences*, 7, 1383–1399. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Bernier, P. Y., R. L. Desjardins, Y. Karimi-Zindashty, D. Worth, A. Beaudoin, Y. Luo, and S. Wang, 2011: Boreal lichen woodlands: A possible negative feedback to climate change in eastern North America. *Agr. Forest Meteorol.*, 151, 521–528. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Betts, R. A., P. D. Falloon, K. K. Goldewijk, and N. Ramankutty, 2007: Biogeophysical effects of land use on climate: Model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agr. Forest Meteorol.*, 142, 216–233. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Bonfils, C., and D. Lobell, 2007: Empirical evidence for a recent slowdown in irrigation-induced cooling. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 104, 13582–13587. (Citado en: Myhre et al (2013).



- Bonfils, C. J. W., T. J. Phillips, D. M. Lawrence, P. Cameron-Smith, W. J. Riley, and Z. M. Subin, 2012: On the influence of shrub height and expansion on northern high latitude climate. *Environ. Res. Lett.*, 7, 015503.
- Bowman, D., et al., 2009: Fire in the Earth System. *Science*, 324, 481–484. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Campra, P., M. Garcia, Y. Canton, and A. Palacios-Orueta, 2008: Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 113, D18109. (Citado en: Myhre et al (2013).
- CSERGE, 1993; Working Paper 15, Center for Social and Economic Research on Global Environment. citado en: El Banco Mundial, México Resource Conservation and Forest Sector Review; Washington D.C., The World Bank, 1995.
- Davin, E., N. de Noblet-Ducoudre, and P. Friedlingstein, 2007: Impact of land cover change on surface climate: Relevance of the radiative forcing concept. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L13702. (Citado en: Myhre et al (2013))
- Davin, E. L., and N. de Noblet-Ducoudre, 2010: Climatic impact of global-scale deforestation: Radiative versus nonradiative processes. *J. Clim.*, 23, 97–112. (Citado en: Myhre et al (2013).
- De Noblet-Ducoudre, N., et al., 2012: Determining robust impacts of land-use-induced land cover changes on surface climate over North America and Eurasia: Results from the first set of LUCID experiments. *J. Clim.*, 25, 3261–3281. (Citado en: Myhre et al (2013).
- DeAngelis, A., F. Dominguez, Y. Fan, A. Robock, M. D. Kustu, and D. Robinson, 2010: Evidence of enhanced precipitation due to irrigation over the Great Plains of the United States. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115, D15115. (Citado en: Myhre et al (2013).
- FAO, 2012: State of the world's forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 60 pp. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Findell, K. L., E. Shevliakova, P. C. D. Milly, and R. J. Stouffer, 2007: Modeled impact of anthropogenic land cover change on climate. *J. Clim.*, 20, 3621–3634. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Gaillard, M. J., et al., 2010: Holocene land-cover reconstructions for studies on landcover-climate feedbacks. *Clim. Past*, 6, 483–499. (Citado en: Myhre et al (2013).



- Ginoux, P., D. Garbuzov, and N. C. Hsu, 2010: Identification of anthropogenic and natural dust sources using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Deep Blue level 2 data. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115, D05204. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Goosse, H., et al., 2006: The origin of the European “Medieval Warm Period”. *Clim. Past*, 2, 99–113. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Granier, C., et al., 2011: Evolution of anthropogenic and biomass burning emissions of air pollutants at global and regional scales during the 1980–2010 period. *Clim. Change*, 109, 163–190. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Hurttt, G. C., et al., 2006: The underpinnings of land-use history: Three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands. *Global Change Biol.*, 12, 1208–1229. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Jin, M. L., R. E. Dickinson, and D. L. Zhang, 2005: The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *J. Clim.*, 18, 1551–1565. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Jin, Y., and D. P. Roy, 2005: Fire-induced albedo change and its radiative forcing at the surface in northern Australia. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L13401. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Jin, Y. F., J. T. Randerson, M. L. Goulden, and S. J. Goetz, 2012: Post-fire changes in net shortwave radiation along a latitudinal gradient in boreal North America. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L13403. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Kaplan, J. O., K. M. Krumhardt, E. C. Ellis, W. F. Ruddiman, C. Lemmen, and K. K. Goldewijk, 2011: Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *Holocene*, 21, 775–791. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Kueppers, L. M., M. A. Snyder, and L. C. Sloan, 2007: Irrigation cooling effect: Regional climate forcing by land-use change. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L03703. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Kuroda, Y., and K. Kodera, 2005: Solar cycle modulation of the southern annular mode. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L13802. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Kvalevag, M. M., G. Myhre, G. Bonan, and S. Levis, 2010: Anthropogenic land cover changes in a GCM with surface albedo changes based on MODIS data. *Int. J. Climatol.*, 30, 2105–2117. (Citado en: Myhre et al (2013).



- Lee, D. S., et al., 2010: Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmos. Environ.*, 44, 4678–4734. (Citado en: Myhre et al (2013))
- Lee, J., D. Shindell, and S. Hameed, 2009: The influence of solar forcing on tropical circulation. *J. Clim.*, 22, 5870–5885. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Lee, X., et al., 2011: Observed increase in local cooling effect of deforestation at higher latitudes. *Nature*, 479, 384–387. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Lee, Y. H., et al., 2013: Evaluation of preindustrial to present-day black carbon and its albedo forcing from Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP). *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 2607–2634. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Lohila, A., et al., 2010: Forestation of boreal peatlands: Impacts of changing albedo and greenhouse gas fluxes on radiative forcing. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 115, G04011. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Mulitza, S., et al., 2010: Increase in African dust flux at the onset of commercial agriculture in the Sahel region. *Nature*, 466, 226–228. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Myhre, G., M. M. Kvalevag, and C. B. Schaaf, 2005a: Radiative forcing due to anthropogenic vegetation change based on MODIS surface albedo data. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L21410. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Myhre, G., E. J. Highwood, K. P. Shine, and F. Stordal, 1998: New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 2715–2718. (Citado en: Myhre et al (2013))
- Myhre, G., Y. Govaerts, J. M. Haywood, T. K. Berntsen, and A. Lattanzio, 2005b: Radiative effect of surface albedo change from biomass burning. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L20812. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Myhre, G., J. Nilsen, L. Gulstad, K. Shine, B. Rognerud, and I. Isaksen, 2007: Radiative forcing due to stratospheric water vapour from CH₄ oxidation. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L01807. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Myhre, G., et al., 2011: Radiative forcing due to changes in ozone and methane caused by the transport sector. *Atmos. Environ.*, 45, 387–394. (Citado en: Myhre et al (2013)).
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the*



- Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nair, U. S., D. K. Ray, J. Wang, S. A. Christopher, T. J. Lyons, R. M. Welch, and R. A. Pielke, 2007: Observational estimates of radiative forcing due to land use change in southwest Australia. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 112, D09117. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Oleson, K. W., G. B. Bonan, and J. Feddema, 2010: Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L03701. (Citado en: Myhre et al (2013).
- PNAS, 2009; PROCEEDINGS OF THE National Academy of Science of the United States, 2009, Jul. 14106(28): 1135-11640
- Pongratz, J., C. Reick, T. Raddatz, and M. Claussen, 2008: A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium. *Global Biogeochem. Cycles*, 22, Gb3018. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Pongratz, J., C. H. Reick, T. Raddatz, and M. Claussen, 2010: Biogeophysical versus biogeochemical climate response to historical anthropogenic land cover change. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L08702. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Pongratz, J., T. Raddatz, C. H. Reick, M. Esch, and M. Claussen, 2009: Radiative forcing from anthropogenic land cover change since AD 800. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L02709. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Puma, M. J., and B. I. Cook, 2010: Effects of irrigation on global climate during the 20th century. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115, D16120. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Rechid, D., T. Raddatz, and D. Jacob, 2009: Parameterization of snow-free land surface albedo as a function of vegetation phenology based on MODIS data and applied in climate modelling. *Theor. Appl. Climatol.*, 95, 245–255. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Schaaf, C., et al., 2002: First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 83, 135–148. (Citado en: Myhre et al (2013).
- Swann, A. L. S., I. Y. Fung, and J. C. H. Chiang, 2012: Mid-latitude afforestation shifts general circulation and tropical precipitation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 109, 712–716. (Citado en: Myhre et al (2013).



Van der Molen, M. K., B. J. J. M. van den Hurk, and W. Hazeleger, 2011: A dampened land use change climate response towards the tropics. *Clim. Dyn.*, 37, 2035–2043. (Citado en: Myhre et al (2013).